

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

---



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 41 892.6

**Anmeldetag:** 10. September 2002

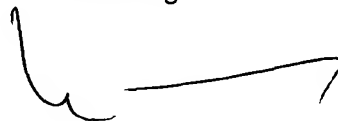
**Anmelder/Inhaber:** Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine  
mit einem Verdichter

**IPC:** F 02 B, F 02 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. April 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag



26.07.02 St/Kei

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Verdichter

Stand der Technik

15

Die Erfindung geht von einem Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Verdichter nach der Gattung des Hauptanspruchs aus.

20

Es sind bereits Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Verdichter, insbesondere mit einem Turbolader, bekannt, wobei ein Druckverhältnis über dem Verdichter in Abhängigkeit eines Massenstroms durch den Verdichter mittels einer Pumpgrenze begrenzt wird, um ein Pumpen des Verdichters zu verhindern. Überschreitet das Druckverhältnis die Pumpgrenze, so führt dies zu einer starken Oszillation der der Brennkraftmaschine zugeführten Frischluftmasse. Dies macht sich in einem pulsierenden Geräusch bemerkbar, das auf dem sogenannten Laderpumpen bzw. Verdichterpumpen beruht. Die Pumpgrenze stellt die Grenze eines Verdichterkennfeldes dar, ab der das Verdichterkennfeld nicht mehr definiert ist. Dabei bestimmt das Verdichterkennfeld das zulässige Druckverhältnis über dem Verdichter in Abhängigkeit des Massenstroms durch den Verdichter. In Figur 3 ist beispielhaft ein Verdichterkennfeld dargestellt, bei dem das Druckverhältnis über einem korrigierten Verdichtermassenstrom in lbs/min aufgetragen ist. Dabei sind im Verdichterkennfeld nach Figur 3 beispielhaft Isolinien mit konstanter Motordrehzahl  $n_{mot}$  der Brennkraftmaschine sowie Isolinien mit konstanter Drehzahl  $n_v$  des Verdichters eines Turboladers dargestellt. Bezüglich der Motordrehzahl  $n_{mot}$  sind dabei Isolinien für 1000, 1500 und 2000 U/min und für die Verdichterdrehzahl  $n_v$  sind Isolinien mit 85 000, 105 000, 125 000, 145 000 und 165 000 U/min aufgetragen. Im Verdichterkennfeld nach Figur 3 ist die Pumpgrenze gestrichelt eingetragen. Sie schneidet sich mit der Isolinie für die Motordrehzahl  $n_{mot} = 1000$  U/min. Wenn

35

beispielsweise die Verdichterzahl  $n_v = 145\,000\text{ U/min}$  und die Motordrehzahl  $n_{\text{mot}} = 1500\text{ U/min}$  beträgt, so liegt das Druckverhältnis unterhalb der Pumpgrenze und somit im zulässigen Bereich. Es kommt daher nicht zu einem Verdichterpumpen. Wenn nun die Brennkraftmaschine ein Fahrzeug antreibt und der Fahrer in einen nächst höheren Gang schaltet, bei dem die Motordrehzahl  $n_{\text{mot}}$  auf  $1000\text{ U/min}$  absinkt, so bedeutet dies bei gleichbleibender Verdichterzahl  $n_v = 145\,000\text{ U/min}$  eine Veränderung des Druckverhältnisses über die Pumpgrenze hinaus auf die Isolinie für  $n_{\text{mot}} = 1000\text{ U/min}$ . Das Druckverhältnis über dem Verdichter wäre somit nicht mehr im zulässigen Bereich, so dass es zum Verdichterpumpen kommen würde. Deshalb muss in diesem Fall das Druckverhältnis auf der Isolinie  $n_{\text{mot}} = 1000\text{ U/min}$  so weit abgesenkt werden, bis es wieder im zulässigen Bereich, d.h. unterhalb der Pumpgrenze liegt. Dazu kann die Verdichterzahl  $n_v$  entsprechend auf einen Wert abgesenkt werden, der etwa  $115\,000\text{ U/min}$  beträgt oder kleiner ist.

Das Druckverhältnis ist definiert als Verhältnis des Druckes in Strömungsrichtung nach dem Verdichter zum Druck in Strömungsrichtung vor dem Verdichter. Der über der Abszisse aufgetragene Verdichtermassenstrom ist in Abhängigkeit des Druckes und der Temperatur des Verdichtermassenstroms in Strömungsrichtung vor dem Verdichter korrigiert. Der Druck in Strömungsrichtung nach dem Verdichter wird auch als Ladedruck bezeichnet, und der Druck in Strömungsrichtung vor dem Verdichter wird auch als Ansaugdruck bezeichnet. Es gibt zwei Möglichkeiten, das Verdichterpumpen auszulösen. Bei gleichbleibendem Ladedruck aber geringerem Umgebungsdruck, beispielsweise in großer Höhe, ergeben sich deutlich erhöhte Verdichterdrukverhältnisse, wenn davon ausgegangen wird, dass der Ansaugdruck etwa dem Umgebungsdruck entspricht. Auf diese Weise kann das Druckverhältnis über dem Verdichter über die Pumpgrenze hinaus ansteigen, so dass ein Verdichterpumpen ausgelöst wird. Dieses Verdichterpumpen wird als statisches Verdichterpumpen bezeichnet. Das statische Verdichterpumpen kann verhindert werden, indem ein Sollwert für den Ladedruck über alle Betriebsbereiche der Brennkraftmaschine so gewählt wird, dass das Druckverhältnis auch bei geringen Umgebungsdrücken einen Sicherheitsabstand von der Pumpgrenze aufweist. Dabei müssen Exemplarstreuungen und Alterungseffekte für die Bemessung des Sicherheitsabstandes berücksichtigt werden. Auf diese Weise wird der Arbeitsbereich des Verdichters im Verdichterkennfeld eingeschränkt.

Bei schnell abfallender Motordrehzahl  $n_{mot}$  kann eine Kombination aus geringer Motordrehzahl  $n_{mot}$  und hoher Verdichterrehzahl  $n_v$  auftreten, die ebenfalls ein Druckverhältnis oberhalb der Pumpgrenze und damit ein Verdichterpumpen bewirken kann und als dynamisches Verdichterpumpen bezeichnet wird.

5

#### Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Verdichter mit den Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, dass in mindestens einem Betriebszustand der Brennkraftmaschine geprüft wird, ob ein Pumpen des Verdichters auftritt und dass die Pumpgrenze in Abhängigkeit des Prüfergebnisses korrigiert wird. Auf diese Weise kann die Pumpgrenze während des Betriebs der Brennkraftmaschine aktualisiert werden. Ein Sicherheitsabstand zur Beschränkung des Sollwertes für den Ladedruck, der Exemplarstreuungen und Alterungseffekte des Verdichters berücksichtigt, ist dann nicht mehr erforderlich. Durch ständiges Aktualisieren bzw. Einlernen der Pumpgrenze während des Betriebs der Brennkraftmaschine kann der Verdichter somit im gesamten zulässigen Bereich des Verdichterkennfeldes genutzt werden. Der Sollwert für den Ladedruck kann somit so gewählt werden, dass Druckverhältnisse über dem Verdichter möglich sind, die ohne Sicherheitsabstand möglichst dicht an die Pumpgrenze herangelegt werden, da die Exemplarstreuung und die Alterungseffekte des Verdichters durch die Aktualisierung der Pumpgrenze berücksichtigt werden. Somit kann der Verdichter in einem größeren Bereich des Verdichterkennfeldes genutzt werden, ohne dass die Pumpgrenze überschritten wird und ohne dass es zu störenden Geräuschen oder erhöhter Materialbelastung auf Grund von Verdichterpumpen kommt.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Auftreten des Pumpens in Abhängigkeit der Amplitude einer mit einer vorgegebenen Frequenz oszillierenden, der Brennkraftmaschine zugeführten Frischluftmasse detektiert wird. Auf diese Weise ist eine besonders zuverlässige Möglichkeit gegeben, ein Auftreten des Verdichterpumpens zu detektieren.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Amplitude der oszillierenden Frischluftmasse mittels einer diskreten Fouriertransformation einer abgetasteten Signalfolge einer erfassten Frischluftmasse bestimmt wird. Dies stellt eine einfache und schnelle Möglichkeit zur Ermittlung der Amplitude dar.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass in einem ersten Bereich der Amplitude ein erster Zustand des Pumpens und in einem zweiten Bereich der Amplitude ein zweiter Zustand des Pumpens detektiert wird, wobei die Amplituden im zweiten Bereich größer sind als im ersten Bereich. Auf diese Weise lassen sich zwei Zustände des Verdichterpumpens mit unterschiedlicher Intensität unterscheiden. Bei geeigneter Wahl der Amplitudenbereiche kann dabei der erste Zustand des Pumpens dadurch ausgezeichnet sein, dass das Verdichterpumpen nicht oder kaum hörbar ist. Beim zweiten Zustand des Pumpens hingegen ist das Verdichterpumpen stärker hörbar. Wird das Verdichterpumpen bereits im ersten Zustand des Pumpens detektiert, so können Gegenmaßnahmen getroffen werden, bevor der zweite Zustand des Pumpens erreicht wird. Auf diese Weise wird eine Detektion des Verdichterpumpens und die Einleitung entsprechender Gegenmaßnahmen ermöglicht, bevor das Verdichterpumpen sich störend bemerkbar macht.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Pumpgrenze für eine vorgegebene Zeit um einen ersten vorgegebenen Wert abgesenkt wird, wenn eine Amplitude im ersten Bereich detektiert wird. Auf diese Weise wird ein Erreichen des zweiten Zustands des Verdichterpumpens wirksam verhindert.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass bei der Korrektur der Pumpgrenze eine neue Pumpgrenze dadurch gebildet wird, dass eine bisherige Pumpgrenze um einen zweiten vorgegebenen Wert abgesenkt wird. Auf diese Weise lässt sich die Pumpgrenze besonders einfach aktualisieren und in ein Gebiet verlegen, in dem nicht mit Verdichterpumpen zu rechnen ist.


Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass in einem neuen Fahrzyklus unabhängig von der Prüfung, ob durch das Pumpen des Verdichters die Pumpgrenze korrigiert wird, eine neue Pumpgrenze dadurch gebildet wird, dass eine bisherige Pumpgrenze um einen dritten vorgegebenen Wert angehoben wird. Auf diese Weise wird erreicht, dass der

Arbeitsbereich des Verdichters im Verdichter kennfeld wieder ausgedehnt wird, um Einschränkungen so gering wie möglich zu halten.

5 Dabei ist es vorteilhaft, wenn der zweite vorgegebene Wert größer als der dritte vorgegebene Wert gewählt wird. Auf diese Weise lässt sich bei Detektion von Verdichterpumpen eine vergleichsweise größere Einschränkung des Arbeitsbereiches des Verdichters im Verdichter kennfeld realisieren, um einen ausreichenden Sicherheitsabstand zu realisieren, der dann mit Hilfe des dritten vorgegebenen Wertes sukzessive wieder verringert werden kann, um die tatsächliche Pumpgrenze zu finden und  
10 zu lernen.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass eine Korrektur der Pumpgrenze nur durchgeführt wird, wenn die sich bildende neue Pumpgrenze einen vorgegebenen Verlauf der Pumpgrenze nicht überschreitet. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die  
15 Pumpgrenze nicht beliebig angehoben werden kann, insbesondere nicht über einen beispielsweise vom Hersteller des Verdichters vorgegebenen Verlauf in Form einer ursprünglichen Pumpgrenze. Somit wird sicher gestellt, dass es nicht unnötig zu Verdichterpumpen und einem erneuten Lernvorgang kommt.

20 Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Korrektur der Pumpgrenze abschnittsweise in Abhängigkeit des Massenstroms durch den Verdichter durchgeführt wird. Auf diese Weise lässt sich die Pumpgrenze genauer aktualisieren, wobei die Präzision mit abnehmender Größe der Abschnitte steigt.

2  Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

30 Es zeigen

Figur 1 ein Blockschaltbild einer Brennkraftmaschine,

Figur 2 einen Ablaufplan zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Verfahrens und

35 Figur 3 ein Verdichter kennfeld.

### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Figur 1 kennzeichnet 1 eine Brennkraftmaschine, beispielsweise eines Kraftfahrzeugs.

5 Dabei wird Frischluft über ein Luftsystem 20 angesaugt und einem Motor 15, umfassend

mindestens einen Zylinder, zugeführt. Die Strömungsrichtung der Frischluft ist dabei

durch einen Pfeil gekennzeichnet. Das bei der Verbrennung im Motor 15 entstehende

Abgas wird einem Abgastrakt 25 zugeführt. Im Luftsystem 20 ist ein Verdichter 5

angeordnet, der beispielsweise der Verdichter eines Abgasturboladers oder ein elektrisch

10 angetriebener oder ein von einer Kurbelwelle des Motors 15 angetriebener Verdichter

sein kann. Der Druck im Luftsystem 20 in Strömungsrichtung vor dem Verdichter 5 ist in

Figur 1 mit  $p_1$  gekennzeichnet. Der Druck im Luftsystem 20 in Strömungsrichtung nach

dem Verdichter 5 ist in Figur 1 mit  $p_2$  gekennzeichnet. Das Druckverhältnis über dem

Verdichter 5 ist somit  $p_2/p_1$ .  $p_2$  ist somit der Ladedruck und  $p_1$  der Ansaugdruck. Hinter

15 dem Verdichter 5 in Strömungsrichtung im Luftsystem 20 nachfolgend ist eine

Vorrichtung 10 zur Erfassung des Luftmassenstroms angeordnet, die beispielsweise als

Heißfilm-Luftmassenmesser ausgebildet sein kann. Dieser misst die Frischluftmasse bzw.

den Frischluftmassenstrom im Luftsystem 20 und damit den Massenstrom durch den

Verdichter 5.

20 Ferner ist ein erster Drucksensor 35 im Luftsystem 20 in Strömungsrichtung vor dem

Verdichter 5 vorgesehen, der den Ansaugdruck  $p_1$  erfasst. Außerdem ist in diesem

Beispiel ein zweiter Drucksensor 40 im Luftsystem 20 in Strömungsrichtung hinter dem

Verdichter 5 vorgesehen, der den Ladedruck  $p_2$  misst. Weiterhin ist eine Motorsteuerung

25 30 vorgesehen, die mit dem Heißfilm-Luftmassenmesser 10, dem ersten Drucksensor 35

und dem zweiten Drucksensor 40 verbunden ist und somit die erfasste Frischluftmasse,

den gemessenen Ansaugdruck  $p_1$  und den gemessenen Ladedruck  $p_2$  empfängt. Ferner

steuert die Motorsteuerung 30 den Verdichter 5 an, um eine gewünschte

Verdichterdrehzahl  $n_v$  einzustellen. Diese Ansteuerung erfolgt dabei in dem Fachmann

30 bekannter Weise.

In Figur 1 sind nur Komponenten der Brennkraftmaschine 1 dargestellt, die für das Verständnis der Erfindung erforderlich sind.

Wird das Verdichterpumpen ausgelöst, dann oszilliert die Frischluftmasse im Luftsystem 20 mit einer für das Luftsystem 20 charakteristischen Frequenz  $f_D$ . Die charakteristische Frequenz  $f_D$  kann dabei in einem Testbetrieb der Brennkraftmaschine 1 ermittelt werden, bei dem das Verdichterpumpen bewusst ausgelöst wird. Die charakteristische Frequenz  $f_D$  wird dann als vorgegebene Frequenz in der Motorsteuerung 30 oder einem der Motorsteuerung 30 zugeordneten Speicher abgelegt.

Beim statischen Verdichterpumpen gibt es zwei Zustände. Ein erster Zustand des Verdichterpumpens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Frischluftmasse mit kleiner Amplitude oszilliert, so dass das Verdichterpumpen nicht oder nur leicht hörbar ist. Im zweiten Zustand des Verdichterpumpens oszilliert die Frischluftmasse mit größerer Amplitude und das Verdichterpumpen ist somit stärker hörbar. Die beiden Zustände unterscheiden sich also in der Größe der Amplitude der oszillierenden Frischluftmasse. Über den ersten Zustand des Verdichterpumpens soll die Pumpgrenze des Verdichters 5 eingelernt bzw. aktualisiert werden.

Durch eine diskrete Fouriertransformation (DFT) wird die Amplitude der oszillierenden Frischluftmasse bei der charakteristischen Frequenz  $f_D$  bestimmt und daraus resultierend werden die beiden Zustände unterschieden.

Die Signalfolge  $u(n)$  stellt die vom Heißfilm-Luftmassenmesser 10 erfasste Frischluftmasse dar. Die Signalfolge  $u(n)$  wird dabei in der Motorsteuerung 30 mit einer Abtastfrequenz  $f_S$  abgetastet. Die Abtastfrequenz  $f_S$  wird dabei auch als Erfassungsfrequenz der Frischluftmasse bezeichnet. Gesucht wird dabei die Amplitude des Signalanteils mit der charakteristischen Frequenz  $f_D$ .  $f_D$  ist dabei wie beschrieben die charakteristische Frequenz mit der die Frischluftmasse beim Überschreiten der Pumpgrenze oszilliert.

Dabei ergibt sich das Quadrat der Amplitude der Signalfolge  $u(n)$  bei der charakteristischen Frequenz  $f_D$  wie folgt:

$$\text{Amplitude}^2 = a^2 + b^2 \quad (1)$$

Dabei ist



$$a = \frac{2}{k} * \sum_{i=1}^k u(i) * \cos(2\pi * \frac{i}{k}) \quad (2)$$

und

5

$$b = \frac{2}{k} * \sum_{i=1}^k u(i) * \sin(2\pi * \frac{i}{k}) \quad (3)$$

$$\text{mit } k = \frac{f_s}{f_D} \quad (4)$$

10

Der erste Zustand des Verdichterpumpens wird erreicht, wenn die Amplitude des Signalanteils mit der charakteristischen Frequenz  $f_D$  größer als ein Minimalwert  $\text{Amplitude}_{\min}$  und kleiner als ein Maximalwert  $\text{Amplitude}_{\max}$  ist, also folgende Ungleichung gilt:

$$\text{Amplitude}_{\min} < \left| \sqrt{\text{Amplitude}^2} \right| < \text{Amplitude}_{\max} \quad (5)$$

15

Der zweite Zustand des Verdichterpumpens wird erreicht, wenn die Amplitude des Signalanteils mit der charakteristischen Frequenz  $f_D$  größer als der Maximalwert  $\text{Amplitude}_{\max}$  ist, so dass gilt

20

$$\left| \sqrt{\text{Amplitude}^2} \right| > \text{Amplitude}_{\max} \quad (6)$$

25

Dabei wird durch die Ungleichung (5) ein erster Bereich der Amplitude und durch die Ungleichung (6) ein zweiter Bereich der Amplitude definiert, wobei der erste Bereich der Amplitude dem ersten Zustand des Verdichterpumpens und der zweite Bereich der Amplitude dem zweiten Zustand des Verdichterpumpens zugeordnet ist. Der Maximalwert  $\text{Amplitude}_{\max}$  ist dabei so gewählt, dass die Amplituden im ersten Bereich nicht oder nur leicht hörbar sind, wohingegen die Amplituden im zweiten Bereich stärker hörbar sind.

30

Die für den Verdichter 5 charakteristische Pumpgrenze wird vom Hersteller vorgegeben und im Motorsteuergerät 30 bzw. einem dem Motorsteuergerät 30 zugeordneten Speicher als ein vorgegebener Verlauf des Druckverhältnisses  $p_2/p_1$  über dem

Frischlufmassenstrom, der auch der Massenstrom durch den Verdichter 5 ist, abgelegt. Dieser Massenstrom durch den Verdichter 5 kann über den Ansaugdruck  $p_1$  und die Temperatur in Strömungsrichtung vor dem Verdichter in dem Fachmann bekannter Weise korrigiert werden. Aus diesem vorgegebenen Verlauf des Druckverhältnisses bzw. der Pumpgrenze wird der maximal zulässige statische Sollwert für den Ladedruck  $p_2$  über dem Massenstrom durch den Verdichter 5 bestimmt. Dabei wird von einem minimal möglichen Ansaugdruck  $p_1$  ausgegangen, der beim Betrieb der Brennkraftmaschine 1 beispielsweise abhängig von der Höhe über dem Meeresspiegel auftreten kann, wobei der Ansaugdruck  $p_1$  etwa dem Umgebungsdruck entsprechen kann. Das Einlernen der Pumpgrenze kann dabei abschnittsweise erfolgen. Die Pumpgrenze wird hierzu in mehrere Abschnitte über dem Frischluftmassenstrom unterteilt, die getrennt eingelernt werden können. Der Verlauf der vorgegebenen Pumpgrenze ist im Verdichterkennfeld der Figur 3 in gestrichelter Form wie beschrieben eingetragen. Wird über den beschriebenen DFT-Algorithmus die Amplitude des Signalanteils mit der charakteristischen Frequenz  $f_D$  im ersten Bereich und damit der erste Zustand des Verdichterpumpens erkannt, so wird ein Lernalgorithmus angestoßen. Die Pumpgrenze wird dabei kurzzeitig, d.h. für eine vorgegebene Zeit, um einen ersten vorgegebenen Wert  $\Delta(p_2/p_1)_1$  abgesenkt, um das Eintreten des zweiten Zustands des Verdichterpumpens zu verhindern.

Nach Ablauf der vorgegebenen Zeit wird die Pumpgrenze wieder angehoben. Die vorgegebene Zeit ist dabei mindestens so groß gewählt, dass aufgrund der Zeitkonstanten für eine Regelung des Ladedrucks  $p_2$  durch Ansteuerung des Verdichters 5 und aufgrund der Trägheit des Verdichters 5 eine Erhöhung der Amplitude des Signalanteils mit der charakteristischen Frequenz  $f_D$  in den zweiten Bereich und damit ein stärker hörbares Verdichterpumpen vermieden werden kann. Die Regelung des Ladedrucks  $p_2$  erfolgt dabei in dem Fachmann bekannter Weise. Die vorgegebene Zeit kann beispielsweise in einem Testlauf der Brennkraftmaschine 1 ermittelt werden und so appliziert werden, dass eine Erhöhung der Amplitude des Signalanteils mit der charakteristischen Frequenz  $f_D$  in den zweiten Bereich gerade vermieden wird. Der erste vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_1$  kann ebenfalls in einem Testbetrieb der Brennkraftmaschine 1 derart appliziert werden, dass ein ausreichender Sicherheitsabstand des aktuellen Druckverhältnisses von der Pumpgrenze während der vorgegebenen Zeit erreicht wird, um den zweiten Zustand des Verdichterpumpens zu verhindern. Der erste vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_1$  und die

vorgegebene Zeit können ebenfalls in der Motorsteuerung 30 oder in einem der Motorsteuerung 30 zugeordneten Speicher abgelegt sein.

5 Während die Pumpgrenze für die vorgegebene Zeit um den ersten vorgegebenen Wert  $\Delta(p_2/p_1)_1$  tatsächlich reduziert ist, wird eine neue Pumpgrenze gelernt, indem die in der Motorsteuerung 30 bzw. in einem der Motorsteuerung 30 zugeordneten Speicher abgelegte bisher gelernte bzw. ursprünglich vom Hersteller vorgegebene Pumpgrenze über dem Massenstrom durch den Verdichter 5 um einen zweiten vorgegebenen Wert  $\Delta(p_2/p_1)_2$  reduziert wird. Nach Ablauf der vorgegebenen Zeit wird dann die um den  
10 ersten vorgegebenen Wert  $\Delta(p_2/p_1)_1$  tatsächlich reduzierte Pumpgrenze auf die neu gelernte Pumpgrenze angehoben. Die neu gelernte Pumpgrenze wird in der Motorsteuerung 30 bzw. in dem der Motorsteuerung 30 zugeordneten Speicher abgelegt und ersetzt die bisher gelernte Pumpgrenze bzw. den ursprünglich vom Hersteller vorgegebenen Verlauf für die Pumpgrenze. Dabei kann der zweite vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_2$  ebenfalls in einem Testlauf der Brennkraftmaschine 1 derart appliziert werden,  
15 dass die neu gelernte Pumpgrenze einen ausreichenden Sicherheitsabstand zum ersten Zustand des Verdichterpumpens und damit auch zum zweiten Zustand des Verdichterpumpens sicherstellt, so dass bei Anwendung der neu gelernten Pumpgrenze nicht mit einem Verdichterpumpen gerechnet werden muss. In der Motorsteuerung 30 bzw. dem zugeordneten Speicher wird entweder die jeweils neu gelernte Pumpgrenze oder ein jeweils neu gelernter Korrekturwert gespeichert, der die ursprünglich vom Hersteller vorgegebene Pumpgrenze auf die neu gelernte Pumpgrenze reduziert. Der beschriebene Lernvorgang kann für den gesamten Verlauf der Pumpgrenze über dem  
20 Frischluftmassenstrom oder aber, wie beschrieben, abschnittsweise durchgeführt werden, wobei die Pumpgrenze für unterschiedliche Abschnitte des Frischluftmassenstroms getrennt eingelernt werden kann. Der erste vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_1$  und/oder der zweite vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_2$  kann dabei für alle Abschnitte des Frischluftmassenstroms gleich gewählt und beispielsweise in einem Testlauf der Brennkraftmaschine 1 für einen exemplarischen Abschnitt appliziert werden. Alternativ  
30 kann der erste vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_1$  und/oder der zweite vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_2$  für verschiedene Abschnitte des Frischluftmassenstroms unterschiedlich appliziert und vorgegeben werden. Nach Ablauf der vorgegebenen Zeit wird die neu gelernte Pumpgrenze über den gesamten Bereich des Frischluftmassenstroms auch tatsächlich angewendet oder aber nur in dem Abschnitt, in dem die Pumpgrenze neu gelernt wurde und in dem der aktuelle Frischluftmassenstrom liegt. Der  
35

Frischlufthmassenstrom entspricht dabei, wie beschrieben, dem Massenstrom durch den Verdichter 5 und wird auch als Verdichtermassenstrom bezeichnet und kann in der beschriebenen Weise in Abhängigkeit des Ansaugdruckes  $p_1$  und/oder der Temperatur in Strömungsrichtung vor dem Verdichter 5 korrigiert sein. Das Abspeichern der neu

5 gelernten Pumpgrenze bzw. der neu gelernten Korrekturwerte erfolgt wie beschrieben in der Motorsteuerung 30 bzw. in dem der Motorsteuerung 30 zugeordneten Speicher, beispielsweise in nicht flüchtiger Weise, so dass die entsprechenden Daten auch über einen Motorstopp hinaus gespeichert bleiben. Die gespeicherten Werte für die

10 gegebenenfalls abschnittsweise ermittelte neu gelernte Pumpgrenze bzw. der oder die gespeicherten neu gelernten Korrekturwerte zur Korrektur des ursprünglich vom Hersteller vorgegebenen Verlaufs der Pumpgrenze werden bei der Initialisierung der Motorsteuerung 30 eingelesen. Bei der Initialisierung der Motorsteuerung 30 wird die so

15 gelesene, neu gelernte Pumpgrenze bzw. der oder die neu gelernten Korrekturwerte um einen dritten vorgegebenen Wert  $\Delta(p_2/p_1)_3$  additiv korrigiert. Hierdurch wird erreicht, dass sich die Pumpgrenze schrittweise wieder dem ursprünglich vom Hersteller vorgegebenen Verlauf nähert. Dabei kann der dritte vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_3$  kleiner als der zweite vorgegebene Wert gewählt werden, so dass einerseits eine vollständige

20 Kompensation der zuvor erfolgten Reduzierung der Pumpgrenze verhindert und andererseits eine Feineinstellung der Pumpgrenze realisiert werden kann. Die Pumpgrenze kann dabei umso präziser eingestellt werden, je kleiner der dritte applizierbare Wert  $\Delta(p_2/p_1)_3$  ist. Andererseits wird für eine solche Feineinstellung umso mehr Zeit beansprucht, je kleiner der dritte vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_3$  gewählt wird. Auch der dritte vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_3$  kann für den gesamten Verlauf der

25 Pumpgrenze über dem Frischluftmassenstrom gleich oder abschnittsweise unterschiedlich gewählt werden. Auch der dritte vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_3$  ist in der Motorsteuerung 30 oder in einem der Motorsteuerung 30 zugeordneten Speicher abgelegt.

Es kann vorgesehen sein, dass die Motorsteuerung 30 die additive Korrektur mit dem dritten vorgegebenen Wert  $\Delta(p_2/p_1)_3$  nur durchführt, wenn dadurch nicht der

30 ursprünglich vom Hersteller vorgegebene Verlauf der Pumpgrenze überschritten wird.

Die Initialisierung der Motorsteuerung 30 kann bei jedem neuen Motorstart und somit für jeden neuen Fahrzyklus einmalig erfolgen. Der Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nun im Folgenden anhand des Ablaufdiagramms nach Figur 2 näher

35 erläutert. Dabei kann der beschriebene Ablauf sowohl zum Einlernen des kompletten

Verlaufs der Pumpgrenze, als auch zum abschnittsweisen Einlernen der Pumpgrenze herangezogen werden, wobei in letzterem Fall der Ablauf jeweils für einen einzigen Abschnitt des Frischluftmassenstroms durchgeführt werden muss. Das Programm kann beispielsweise bei jedem Start des Motors 15 gestartet werden. Der Programmablauf wird am Beispiel des Einlernens eines Korrekturwertes für die Pumpgrenze beschrieben. Mit dem Start des Motors 15 wird auch die Motorsteuerung 30 initialisiert. Dabei wird, wie beschrieben, der bisher gelernte Korrekturwert aus seinem Speicher gelesen. Bei der Pumpgrenze handelt es sich dabei um den ursprünglich vom Hersteller vorgegebenen Verlauf der Pumpgrenze. Somit ist der eingelesene, bisher gelernte Korrekturwert beim ersten Start des Motors gleich Null, da noch kein Lernvorgang stattgefunden hat. Beim Programmpunkt 100 prüft die Motorsteuerung 30, ob der bisher gelernte Korrekturwert kleiner als der dritte vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_3$  ist. Ist dies der Fall, so wird zu einem Programmpunkt 110 verzweigt, andernfalls wird zu einem Programmpunkt 105 verzweigt.

Bei Programmpunkt 105 wird ein neu gelernter Korrekturwert gebildet, indem vom bisher gelernten Korrekturwert der dritte vorgegebene Wert  $\Delta(p_2/p_1)_3$  abgezogen wird. Mit dem neu gelernten Korrekturwert wird dann der Speicher für den bisher gelernten Korrekturwert überschrieben. Anschließend gibt die Motorsteuerung 30 eine neue Pumpgrenze vor, indem sie von der ursprünglich vom Hersteller vorgegebenen Pumpgrenze den bei Programmpunkt 105 neu gelernten Korrekturwert abzieht. Anschließend wird zu Programmpunkt 110 verzweigt. Bei Programmpunkt 110 berechnet die Motorsteuerung 30 in der beschriebenen Weise mittels der diskreten Fouriertransformation die Amplitude des Signalanteils der vom Heißfilm-Luftmassenmesser gemessenen Frischluftmasse mit der charakteristischen Frequenz  $f_D$ . Anschließend wird zu einem Programmpunkt 115 verzweigt.

Bei Programmpunkt 115 prüft die Motorsteuerung 30, ob die Amplitude im ersten Bereich liegt. Ist dies der Fall, so wird zu einem Programmpunkt 120 verzweigt, andernfalls wird zu einem Programmpunkt 135 verzweigt.

Bei Programmpunkt 135 prüft die Motorsteuerung 30, ob der aktuelle Fahrzyklus beendet wurde, d.h. ob der Motor 15 abgestellt wurde. Ist dies der Fall, so wird das Programm verlassen, andernfalls wird zu Programmpunkt 110 zurück verzweigt.

Bei Programmpunkt 120 reduziert die Motorsteuerung 30 die aktuelle Pumpgrenze um den ersten vorgegebenen Wert  $\Delta(p_2/p_1)_1$  und startet einen Timer. Anschließend wird zu einem Programmpunkt 125 verzweigt. Bei Programmpunkt 125 liest die Motorsteuerung 30 den gegebenenfalls bei Programmpunkt 105 aktualisierten Speicher für den bisher gelernten Korrekturwert aus und addiert zu diesem Wert den zweiten vorgegebenen Wert  $\Delta(p_2/p_1)_2$ . Auf diese Weise wird ein neuer Korrekturwert gelernt und im Speicher für den bisher gelernten Korrekturwert abgelegt. Für einen neuen Programmdurchlauf steht somit ein aktualisierter Korrekturwert zur Verfügung. Anschließend wird zu einem Programmpunkt 130 verzweigt.

Bei Programmpunkt 130 gibt die Motorsteuerung 30 eine neue Pumpgrenze vor, indem sie von der ursprünglich vom Hersteller vorgegebenen Pumpgrenze den bei Programmpunkt 125 neu gelernten Korrekturwert abzieht. Die Vorgabe der neuen Pumpgrenze durch die Motorsteuerung 30 erfolgt dabei dann, wenn der bei Programmpunkt 120 gestartete Timer die vorgegebene Zeit erreicht hat. Anschließend wird das Programm verlassen.

Eine sinnvolle Wahl für die Größenverhältnisse der vorgegebenen Werte kann wie folgt durchgeführt werden:

$$\Delta(p_2/p_1)_1 > \Delta(p_2/p_1)_2 > \Delta(p_2/p_1)_3.$$

Die Pumpgrenze kann in der beschriebenen Weise in jedem Betriebszustand der Brennkraftmaschine 1 gelernt werden, in dem der Motor 15 läuft. Die Detektion, ob der Motor 15 läuft oder steht, kann beispielsweise mit Hilfe eines in Figur 1 nicht dargestellten Drehzahlsensors ermittelt werden, der die Drehzahl des Motors 15 erfasst und an die Motorsteuerung 30 weiterleitet. Auf diese Weise kann die Motorsteuerung 30 feststellen, ob der Motor 15 gestartet wurde, um in der beschriebenen Weise das Programm nach Figur 2 zu starten bzw. ob der Motor 15 ausgeschaltet und ein Fahrzyklus beendet wurde, um das Programm nach Figur 2 nach der Abfrage bei Programmpunkt 135 zu verlassen.

26.07.02 St/Kei

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Ansprüche

15

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1) mit einem Verdichter (5), insbesondere einem Turbolader, wobei ein Druckverhältnis über dem Verdichter (5) in Abhängigkeit eines Massenstroms durch den Verdichter (5) mittels einer Pumpgrenze begrenzt wird, um ein Pumpen des Verdichters (5) zu verhindern, **dadurch gekennzeichnet, dass** in mindestens einem Betriebszustand der Brennkraftmaschine (1) geprüft wird, ob ein Pumpen des Verdichters (5) auftritt und dass die Pumpgrenze in Abhängigkeit des Prüfergebnisses korrigiert wird.

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Auftreten des Pumpens in Abhängigkeit der Amplitude einer mit einer vorgegebenen Frequenz oszillierenden, der Brennkraftmaschine (1) zugeführten Frischluftmasse detektiert wird.

25

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitude der oszillierenden Frischluftmasse mittels einer diskreten Fouriertransformation einer abgetasteten Signalfolge einer erfassten Frischluftmasse bestimmt wird.

30

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Bereich der Amplitude ein erster Zustand des Pumpens und in einem zweiten Bereich der Amplitude ein zweiter Zustand des Pumpens detektiert wird, wobei die Amplituden im zweiten Bereich größer sind als im ersten Bereich.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpgrenze für eine vorgegebene Zeit um einen ersten vorgegebenen Wert abgesenkt wird, wenn eine Amplitude im ersten Bereich detektiert wird.

5 6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Korrektur der Pumpgrenze eine neue Pumpgrenze dadurch gebildet wird, dass eine bisherige Pumpgrenze um einen zweiten vorgegebenen Wert abgesenkt wird.

10 7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einem neuen Fahrzyklus unabhängig von der Prüfung auf das Pumpen des Verdichters (5) die Pumpgrenze korrigiert wird, wobei eine neue Pumpgrenze dadurch gebildet wird, dass eine bisherige Pumpgrenze um einen dritten vorgegebenen Wert angehoben wird.

15 8. Verfahren nach Anspruch 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite vorgegebene Wert größer als der dritte vorgegebene Wert gewählt wird.

20 9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Korrektur der Pumpgrenze nur durchgeführt wird, wenn die sich bildende neue Pumpgrenze einen vorgegebenen Verlauf der Pumpgrenze nicht überschreitet.

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur der Pumpgrenze abschnittsweise in Abhängigkeit des Massenstroms durch den Verdichter (5) durchgeführt wird.



26.07.02 St/Kei

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Verdichter



Zusammenfassung

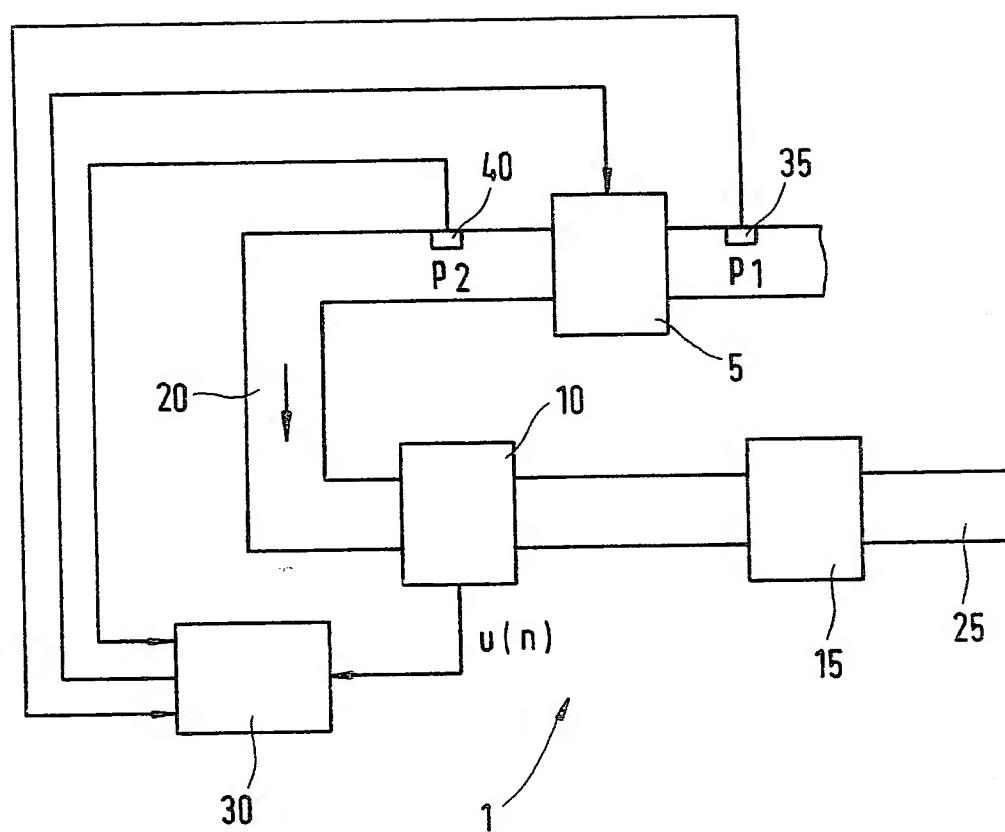
15

Es wird ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1) mit einem Verdichter (5), insbesondere einem Turbolader, vorgeschlagen, das eine Aktualisierung einer Pumpgrenze des Verdichters (5) ermöglicht. Dabei ist ein Druckverhältnis über dem Verdichter (5) in Abhängigkeit eines Massenstroms durch den Verdichter (5) mittels der Pumpgrenze begrenzt, um ein Pumpen des Verdichters (5) zu verhindern. In mindestens einem Betriebszustand der Brennkraftmaschine (1) wird geprüft, ob ein Pumpen des Verdichters (5) auftritt. Die Pumpgrenze wird in Abhängigkeit des Prüfergebnisses korrigiert.

20

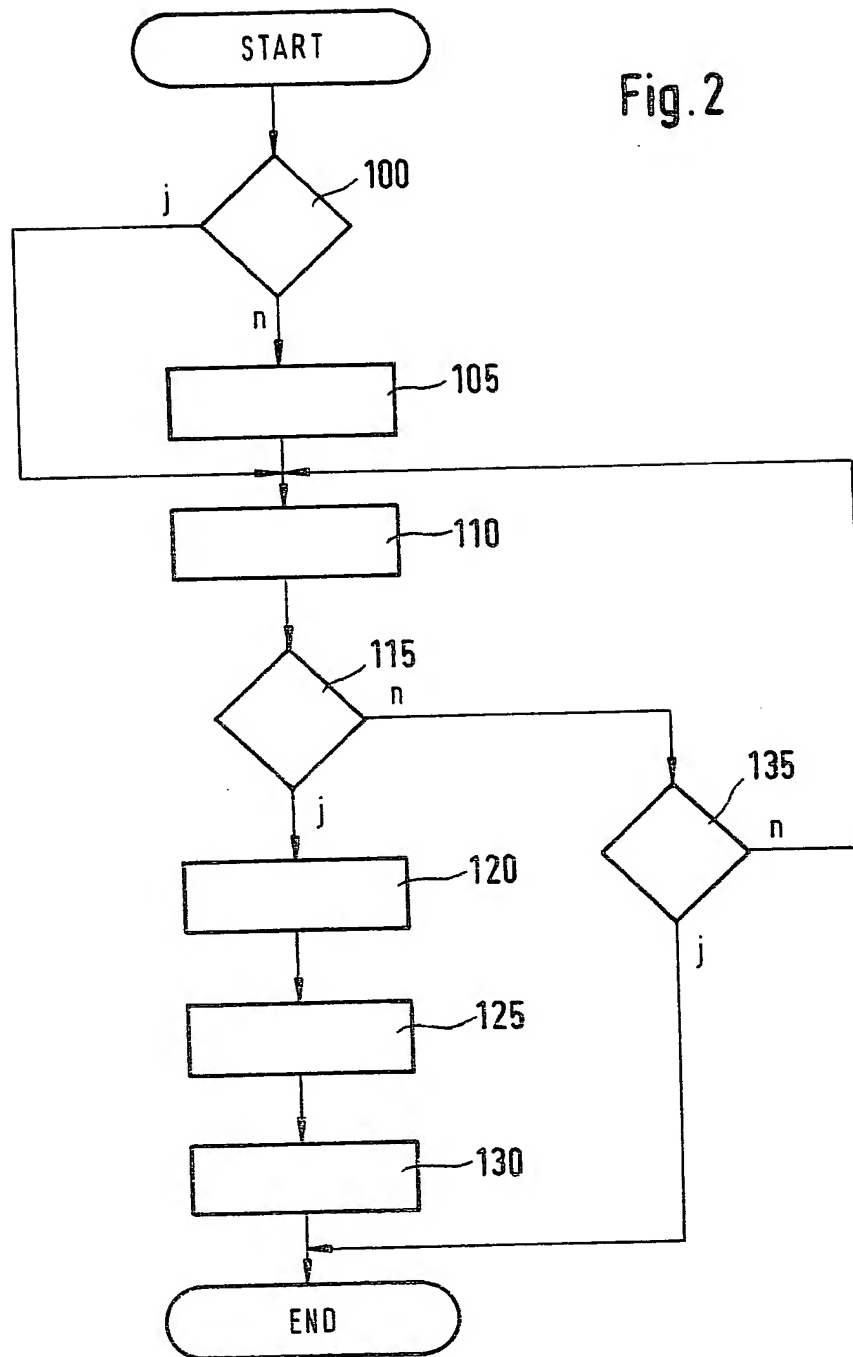


Fig.1



2 / 3

Fig. 2



50882-4050

0288-096-108

301-838-106

...of the year...

ab? laia? not? ...

**Fig.3**

